

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **10-222817**

(43)Date of publication of application : **21.08.1998**

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : **09-023840** (71)Applicant : **HITACHI LTD**

(22)Date of filing : **06.02.1997** (72)Inventor : **WATANABE KATSURO**
SUZUKI YOSHIO
HAMAKAWA YOSHIHIRO

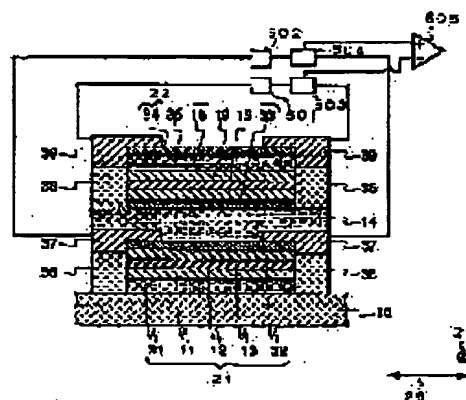
(54) MAGNETO-RESISTIVE SENSOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magneto-resistive sensor capable of stably obtaining a regenerative waveform with large sensitivity and excellent symmetry.

SOLUTION: A first magnetic sensor film 21 and a second magnetic sensor film 22 are laminated films respectively provided with first ferromagnetic layers 13, 16 rotating magnetization according to a magnetic field from a recording medium, second ferromagnetic layers 11, 18 fixing the magnetization and non-magnetic layers 12, 19 arranged between them.

At this time, the magnetization of the second ferromagnetic layers 11, 18 are fixed oppositely to each other beforehand. Electrode pairs 37, 39 are arranged on respective magnetic sensor films 21, 22. The electric resistance changes of the magnetic sensor films 21, 22 are detected by circuits 504, 504, and by obtaining their difference by the circuit 505, the anisotropic magneto-resistive effects of the magnetic sensor films 21, 22 are canceled, and the symmetry of output waveforms by a giant magneto-resistive effect is improved.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's

BEST AVAILABLE COPY

decision of rejection]

[Kind of final disposal of application
other than the examiner's decision of
rejection or application converted
registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(51) Int.Cl.⁸

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平9-23840

(22) 出願日 平成9年(1997) 2月6日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 渡辺 克朗

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 鈴木 良夫

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 濱川 佳弘

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 弁理士 富田 和子

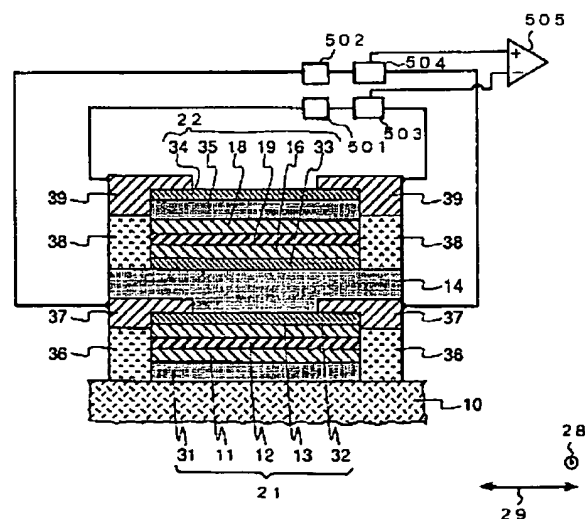
(54) 【発明の名称】 磁気抵抗センサ

(57) 【要約】

【課題】 大きな感度と対称性の良い再生波形が安定して得られる磁気抵抗センサを提供する。

【解決手段】 第1の磁気センサ膜21および第2の磁気センサ膜22は、それぞれ、記録媒体からの磁界に応じて磁化の回転する第1の強磁性層13、16と、磁化の固定された第2の強磁性層11、18と、その間に配置された非磁性層12、19とを有する積層膜である。このとき、第2の強磁性層11、18の磁化は、互いに逆向きに固定しておく。電極対37、39は、それぞれの磁気センサ膜21、22に配置する。磁気センサ膜21、22の電気抵抗変化を回路504、505により検知し、それらの差を回路505で求めることにより、磁気センサ膜21、22の異方性磁気抵抗効果を相殺することができ、巨大磁気抵抗効果による出力波形の対称性を向上させることができる。

図5



【特許請求の範囲】

【請求項1】記録媒体からの磁界によって電気抵抗変化の生じる第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜と、前記第1の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第1の電極対と、前記第2の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第2の電極対と、前記第1の電極対から検出された電気抵抗変化と第2の電極対から検出された電気抵抗変化との差を求める電気回路とを有し、

第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜は、それぞれ、記録媒体からの磁界に応じて磁化の回転する第1の強磁性層と、磁化の固定された第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と第2の強磁性層との間に配置された非磁性層とを有する積層膜であり、
前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化が固定されている方向とは異なる向きに固定されていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項2】請求項1において、前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化が固定されている方向は、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化が固定されている方向とは逆向きであることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項3】請求項1において、第1および第2の電極対は、それぞれ、前記第1および第2の磁気センサ膜の中央部の電気抵抗変化を検出するために、電極対の間隔が、該間隔方向の磁気センサ膜の幅よりも狭いことを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項4】請求項3において、前記第1および第2の電極対は、それぞれ、前記第1および第2の磁気センサ膜の両脇に配置され、その一部が前記第1および第2の磁気センサ膜の両端から上面の一部を覆うように形成されていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項5】請求項1において、前記第1および第2の磁気センサ膜は、それぞれの前記第2の強磁性層と接するように配置された反強磁性層をそれぞれ有し、前記第2の強磁性層は、前記反強磁性層との交換結合により磁化が固定されていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項6】請求項5において、前記第1の磁気センサ膜と第2の磁気センサ膜とは、絶縁層を挟んで積層されていることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項7】請求項1において、前記第2の磁気センサ膜と第2の磁気センサ膜とは、絶縁性反強磁性層を挟んで積層され、

前記第1の磁気センサ膜は、該第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層が前記絶縁性反強磁性層と接するように配置され、

前記第2の磁気センサ膜は、該第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の、前記非磁性層とは逆側の面に、順に重ねられた第2の非磁性層と第3の強磁性層とを有し、

前記第2の磁気センサ膜は、前記第3の強磁性層が前記絶縁性反強磁性層と接するように配置され、

前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記絶縁性反強磁性層との交換結合により固定され、

前記第2の磁気センサ膜の第3の強磁性層の磁化は、前記絶縁性反強磁性層との交換結合により固定され、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記第2の非磁性層を介して、第3の強磁性層の磁化と反強磁性的に結合することにより、前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化とは逆向きに固定されることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項8】請求項1において、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層は、記録媒体からの磁界よりも保磁力の大きな磁性体からなり、

前記第1の磁気センサ膜は、該第1の磁気センサ膜の前記第2の強磁性層に接するように反強磁性層を有し、

前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、自らの保磁力により固定され、前記第1の磁気センサ膜の前記第2の強磁性層の磁化は、前記反強磁性層との交換結合により固定されることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項9】請求項1において、前記第2の磁気センサ膜は、記録媒体からの磁界よりも保磁力の大きな第4の強磁性層を、該第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層と接するように備え、

前記第1の磁気センサ膜は、該第1の磁気センサ膜の前記第2の強磁性層と接するように配置された反強磁性層を有し、

前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記第4の強磁性層の保磁力により固定され、前記第1の磁気センサ膜の前記第2の強磁性層の磁化は、前記反強磁性層との交換結合により固定されることを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項10】記録媒体からの磁界によって電気抵抗変化の生じる第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜と、前記第1の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第1の電極対と、前記第2の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第2の電極対と、前記第1の電極対から検出された電気抵抗変化と第2の電極対から検出された電気抵抗変化との差を求める電気回路とを有し、

第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜は、それぞれ、記録媒体からの磁界に応じて磁化の回転する第1の強磁性層と、磁化の固定された第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と第2の強磁性層との間に配置された非磁性層とを有する積層膜であり、

第1および第2の電極対は、それぞれ、前記第1および第2の磁気センサ膜の中央部の電気抵抗変化を検出するために、電極対の間隔が、該間隔方向の磁気センサ膜の幅よりも狭いことを特徴とする磁気抵抗センサ。

【請求項11】磁気抵抗センサを用いた磁気ヘッドであって、
基体上に、記録媒体からの磁界によって電気抵抗変化の生じる第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜と、前記第1の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第1の電極対と、前記第2の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第2の電極対とを備え、
前記基体の記録媒体との対向面と、前記第1および第2の磁気センサ膜との間には、記録媒体からの磁界を導くための磁性膜が配置され、
前記第1および第2の電極対には、第1の電極対から検出された電気抵抗変化と第2の電極対から検出された電気抵抗変化との差を求める電気回路が接続され、
第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜は、それぞれ、記録媒体からの磁界に応じて磁化の回転する第1の強磁性層と、磁化の固定された第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と第2の強磁性層との間に配置された非磁性層とを有する積層膜であり、
前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化が固定されている方向とは異なる向きに固定されていることを特徴とする磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁氣的に記録された情報を再生する磁気トランスデューサに係り、特に線形性に優れ、感度が高い磁気抵抗センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】磁気ディスク装置のダウンサイジング化に伴い、面記録密度が急速に向上し、高い記録密度の磁気記録面からでも情報を読出すことができる磁気抵抗センサ、すなわち磁気抵抗効果型ヘッド(MRヘッド)が実用化されている。現在使われているMRヘッドは、1975年出版のアイイーイーイー トランザクション オン マグネティクス MAG-11巻の1039ページに詳細に説明されている異方性磁気抵抗効果に基づき作動するものであり、その電気抵抗は、磁気抵抗センサ膜内の磁化の方向と電流の方向のなす角度 θ の余弦の2乗($\cos^2 \theta$)で変化することが知られている。

【0003】数Gb/in²以上の面記録密度になると、異方性磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗センサでは感度不足が予想されるため、1989年出版のフィジカル レビュー ビー 39巻の4828ページに紹介されているような、非磁性導電層を介して積層された2層の強磁性薄膜層の互いの磁化の方向のなす角度によって電気抵抗が変化する巨大磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗センサの研究開発が盛んに行われている。

【0004】巨大磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗センサの一つとして、特開平4-358310号公報には、ス

ピンバルブ構造と呼ばれる構造が記されている。これは、反強磁性薄膜層によって磁化が特定の方向に固定された第1の強磁性薄膜層と、非磁性導電層を介して第1の強磁性薄膜層に積層された第2の強磁性薄膜層とで構成されており、第1の強磁性薄膜層の磁化と第2の強磁性薄膜層の磁化の相対的な角度によって電気抵抗が変化するものである。

【0005】また、特開平6-267029および特開平7-85426号公報には、バルクハウゼンノイズを低減するために、反強磁性膜を挟んで、2つの巨大磁気抵抗効果素子を積層し、これに一对の電極から電流を流すことにより、2つの巨大磁気抵抗効果素子の合成抵抗を検出する磁気抵抗効果型ヘッドが記載されている。この磁気抵抗効果型ヘッドでは、一方の巨大磁気抵抗効果素子に記録媒体から印加される磁界と、他方の巨大磁気抵抗効果素子に記録媒体から印加される磁界とが、互いに同極性である場合には、両者の電気抵抗変化は相殺しあうため、出力は得られないが、記録媒体の磁化が反転している領域では、2つの巨大磁気抵抗効果素子に印加される磁界が互いに逆極性になり、両者の抵抗変化が強め合って出力が得られる構成である。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の特開平4-358310号公報の磁気抵抗センサの構成は、再生波形を測定すると、対称性のよい再生波形が得られないという問題がある。ここで、対称性のよい再生波形とは、符号の異なる情報を読出したときに、正負の波形のピーク値が等しい波形のことを言う。このように、再生波形の対称性を損なう原因は、巨大磁気抵抗効果に異方性磁気抵抗効果が重畳しているためであると考えられる。

【0007】また、特開平6-267029および特開平7-85426号公報記載の磁気抵抗効果型ヘッドは、バルクハウゼンノイズを減少させることを目的とした構成であるため、異方性磁気抵抗効果が重畳することによる再生波形の対称性の改善については考慮されていない。このため、差動動作ではあるが、2つの磁気抵抗効果素子の合成抵抗を1組の電極で検出する構成であるため、異方性磁気抵抗効果を相殺することはできず、異方性磁気抵抗効果が重畳した巨大磁気抵抗効果の出力をそのまま単純に倍にした再生出力となる。また、この構成では、記録媒体の磁化が反転している領域のみで再生出力が得られる。

【0008】本発明の目的は、巨大磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗センサであって、異方性磁気抵抗効果の影響を取り除き、対称性の良い再生波形が安定して得られる磁気抵抗センサを提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明によれば以下のような磁気抵抗センサが提供される。

【0010】すなわち、記録媒体からの磁界によって電気抵抗変化の生じる第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜と、前記第1の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第1の電極対と、前記第2の磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するための第2の電極対と、前記第1の電極対から検出された電気抵抗変化と第2の電極対から検出された電気抵抗変化との差を求める電気回路とを有し、第1の磁気センサ膜および第2の磁気センサ膜は、それぞれ、記録媒体からの磁界に応じて磁化の回転する第1の強磁性層と、磁化の固定された第2の強磁性層と、前記第1の強磁性層と第2の強磁性層との間に配置された非磁性層とを有する積層膜であり、前記第1の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化は、前記第2の磁気センサ膜の第2の強磁性層の磁化が固定されている方向とは異なる向きに固定されている磁気抵抗センサである。

【0011】

【発明の実施の形態】巨大磁気抵抗効果を利用する磁気抵抗センサにおいて、再生波形の対称性を損なう原因は、巨大磁気抵抗効果に異方性磁気抵抗効果が重畳していることにある。よって、大きな感度と対称性の良い再生波形を安定して得るためには、大きな磁気抵抗変化率が得られる巨大磁気抵抗効果を活かすとともに、異方性磁気抵抗効果の影響を小さくすることが必要となる。

【0012】一般的な、図10のようなスピンバルブ構造の磁気抵抗センサにおいて、第1の強磁性薄膜層11の磁化の方向を素子高さ方向28に固定し、外部磁界に対して自由に回転する第2の強磁性薄膜層13の誘導異方性の方向を、第1の強磁性薄膜層11の磁化の方向とは直交するトラック幅方向29とした場合、巨大磁気抵抗効果のみを考えると、外部磁界がゼロのときの出力は、最大出力の1/2になる。しかも、外部磁界に対する応答の線形性が良いため、対称性の良い再生波形が得られる。

【0013】しかしながら、実際に、図10のスピンバルブ構造の磁気抵抗センサの磁気抵抗効果曲線を測定すると、図11のように、外部磁界ゼロにおける出力は、最大出力の1/2よりも大きく、しかも、傾きも緩やかである。このため、磁気ディスク装置に組み込んだ場合に、出力は小さく、再生波形の対称性を確保することができない。これは、この磁気センサにおいて、巨大磁気抵抗効果に、異方性磁気抵抗効果が重畳しているためである。なお、磁気抵抗効果曲線の測定を行った磁気抵抗センサは、第2の強磁性薄膜層13を厚さ10nmのNi₈₁Fe₁₉とし、磁化の配置を図10のように向けたものである。また、素子の形状は、素子高さが1.2μm、トラック幅が1.4μmであり、シールド層は設けていない。

【0014】また、巨大磁気抵抗効果と異方性磁気抵抗効果を考慮して、ランダウーリフシッツーギルバー

ト方程式に基づくシミュレーションを行った。その結果を図12に示す。図12の曲線は、異方性磁気抵抗効果による出力(AMR)と巨大磁気抵抗効果による出力(GMR)の比が0.2の場合のそれぞれの出力と両者の和(GMR+AMR)を示したものである。図12の曲線の形状が、図11の磁気抵抗効果曲線とよく一致しており、図11の曲線はGMR+AMRに相当していることがわかる。図12の曲線から明らかなように、GMRの曲線は、外部磁界ゼロ付近で急峻な傾きを示しているが、これにAMRが加わることで磁気抵抗効果曲線がシフトしたように見える曲線となり、外部磁界ゼロ近傍において、傾きが緩やかになるとともに、線形性が悪くなる。

【0015】よって、スピンバルブ構造の磁気抵抗センサにおいて、再生波形の対称性を向上させるためには、異方性磁気抵抗効果の低減が重要である。

【0016】異方性磁気抵抗効果を小さくする手段の一つとして、磁気センサ膜を構成する強磁性薄膜層に非磁性元素を添加する方法が知られている。しかし、この方法では異方性磁気抵抗効果を小さくすると同時に巨大磁気抵抗効果も小さくしてしまい、出力の低下を招く。また、異方性磁気抵抗効果をなくすることはできないため、再生波形の非対称性は改善されないため、好ましい方法ではないと考えられる。

【0017】そこで、本発明では、2つのスピンバルブ構造の磁気センサ膜を用意し、磁気センサ膜から得られた電気信号の差をとることにより、異方性磁気抵抗効果による電気抵抗変化を相殺すると同時に、巨大磁気抵抗効果による電気抵抗変化を足し合わせて、再生波形を改善させるとともに、再生信号の感度を向上させる。

【0018】以下、本発明の一実施の形態について説明する。

【0019】本実施の形態の磁気抵抗センサは、図1に示すように、絶縁層14を挟んで積層された第1の磁気センサ膜21と第2の磁気センサ膜22とを有する。第1の磁気センサ膜21は、第1の非磁性導電層21を間に挟んで重ねられた、第1の強磁性薄膜層11と第2の強磁性薄膜層13とを含む。第2の磁気センサ膜22は、第2の非磁性導電層19を間に挟んで重ねられた、第3の強磁性薄膜層16と第4の強磁性薄膜層18とを含む。また、図1には示していないが、第1の磁気センサ膜21ならびに第2の磁気センサ膜22には、それぞれの磁気センサ膜の電気抵抗変化を検出するために、それぞれ一対の電極が配置されている。さらに、各電極対は、電気抵抗変化を検出する回路と、それらの電気抵抗変化の差を求めるための、差動アンプ等の電気回路(不図示)に接続される。

【0020】ここで、第1の強磁性薄膜層11の磁化および第4の強磁性薄膜層18の磁化は、素子高さ方向28に沿って互いに逆向きに固定されている。また、第2

の強磁性薄膜層13の磁気異方性および第3の強磁性薄膜層16の磁気異方性は、トラック幅方向29に誘導されており、その磁化は、いずれも外部磁界によってトラック幅方向29を中心に自由に回転する。

【0021】このような図1の磁気抵抗センサに、信号検出電流をトラック幅方向29に流したときに、第1の磁気センサ膜21及び第2の磁気センサ膜22のそれぞれの電極対から検出される磁気抵抗効果曲線をシミュレーションにより求めた結果を、それぞれ図2(a)及び(b)に示す。異方性磁気抵抗効果は、磁化の方向と信号検出電流の方向とのなす角度 θ に対し $\cos^2\theta$ で変化するものであるから、第1の磁気センサ膜21と第2の磁気センサ膜22ではほぼ同様の磁気抵抗効果曲線を示す。一方、巨大磁気抵抗効果は、2つの強磁性薄膜層の磁化の方向のなす角度 ϕ に対し $\cos\phi$ で変化するものであるから、第1の磁気センサ膜21と第2の磁気センサ膜22とは、磁界に対する応答は逆になる。これらの差を、電気回路によって検出すると、図3のようになる。すなわち、異方性磁気抵抗効果が相殺されるため、磁気抵抗効果曲線の差動出力には、異方性磁気抵抗効果による影響が殆ど見られず、磁界ゼロ近傍で傾きが急であり、線形性もよくなる。よって、本実施の形態の磁気抵抗センサを用いることにより、大きな感度と対称性の良い再生波形が得られることがわかる。

【0022】なお、図2(a)、(b)において、異方性磁気抵抗効果による磁気抵抗効果曲線が、磁界に対してわずかに非対称な形になっているのは、第1の磁気抵抗センサ膜21の第2の強磁性薄膜層13、ならびに第2の磁気抵抗センサ膜22の第3の強磁性薄膜層16の磁化が、記録媒体から磁界を受けていない状態で、トラック幅方向29からわずかにずれているためである。これは、第1の強磁性薄膜層11および第4の強磁性薄膜層18の端部に発生する磁極によって生じた磁界が、第2、第3の強磁性薄膜層13、16に入り込み、第2、第3の強磁性薄膜層13、16の磁化をわずかに傾斜させる現象による。この現象は、スピンバルブ構造の磁気抵抗センサ特有の現象である。

【0023】また、磁気抵抗センサにおいては、磁気抵抗センサが記録媒体に衝突した際に、摩擦による温度上昇のため、出力にノイズがのる現象、いわゆるサーマルアスピリティーが生じることが知られている。衝突による温度上昇は、第1および第2の磁気センサ膜について同様に生じるため、第1の磁気センサ膜の出力と、第2の磁気センサ膜の出力との差をとる本発明の磁気抵抗センサでは、サーマルアスピリティーによるノイズを打ち消すことができる。

【0024】上述してきたように、本発明の磁気抵抗センサは、逆向きに磁化を固定した2組の磁気センサ膜を用い、これらの磁気センサ膜の電気的な出力の差を電気回路によって求める構成であるため、異方性磁気抵抗効

果を相殺し、巨大磁気抵抗効果を重ね合うことにより、出力が大きく、対称性の良い再生波形が得られる。また、サーマルアスピリティーによるノイズを打ち消すことができ、ノイズの少ない再生波形が得られる。

【0025】なお、本発明の磁気抵抗センサの層構成は、図1の構成に限定されるものではなく、他の構成でも良い。例えば、図4のように、絶縁性反強磁性薄膜層415を挟んで、第1の磁気センサ膜421と第2の磁気センサ膜422とを積層した構成にすることができる。電極対(不図示)は、第1および第2の磁気センサ膜421、422それぞれに配置し、各電極対は、それぞれの電気抵抗の変化を検出する回路と、それらの出力の差を求める回路に接続する。

【0026】第1の磁気センサ膜421は、順に積層された、第1の強磁性薄膜層411、第1の非磁性導電層412、第2の強磁性薄膜層413を含む。第1の磁気センサ膜421では、第2の強磁性薄膜層413の磁化424を、絶縁性反強磁性薄膜層415との交換結合によって素子の高さ方向28に固定し、第1の強磁性薄膜層411の磁化423を記録媒体からの磁界によってトラック幅方向29を中心に自由に回転させる。

【0027】一方、第2の磁気センサ膜422は、順に積層された、第3の強磁性薄膜層416、非磁性スペーサ層417、第4の強磁性薄膜層418、第2の非磁性導電層419、第5の強磁性薄膜層420を含む。第2の磁気センサ膜422では、第4の強磁性薄膜層418の磁化426を、第3の強磁性薄膜層416の磁化425と、適切な厚さのスペーサ層417を介して反強磁性的に強く結合させることにより、素子の高さ方向28に固定する。第3の強磁性薄膜層416の磁化425は、絶縁性反強磁性薄膜層415との交換結合により固定する。これにより、第2の磁気センサ膜422の第4の強磁性薄膜層418の磁化426の方向を、第1の磁気センサ膜421の第2の強磁性薄膜層413の磁化424の方向と逆向きにすることができる。また、第5の強磁性薄膜層420の磁化427は、記録媒体からの磁界によってトラック幅方向29を中心に自由に回転する。

【0028】図4の構成では、反強磁性層と強磁性層の交換結合と、非磁性層を挟んだ2枚の強磁性層の反強磁性的な結合とを利用することにより、第1の磁気センサ膜421の第2の強磁性薄膜層413の磁化の方向と、第2の磁気センサ膜422の第4の強磁性薄膜層418の磁化の方向とを、互いに逆向きに固定することができる。これにより、磁化を固定するための処理が容易になり、製造工程を簡素化できるという利点がある。

【0029】以下、本発明による実施の形態の磁気センサについて、さらに具体的に説明する。

【0030】図5は、本発明の磁気抵抗センサの具体的な断面図である。層構造の基本的な構成は、図1の磁気センサと同様である。

【0031】すなわち、非磁性基板10の上には、順に、反強磁性薄膜層31、第1の強磁性薄膜層11、第1の非磁性導電層12、第2の強磁性薄膜層13、保護膜32が積層されている。これらの膜は、第1の磁気センサ膜21を構成する。反強磁性薄膜層31は、第1の強磁性薄膜層11の磁化を交換結合により固定するためのものである。第1の磁気センサ膜21の両側には、バルクハウゼンノイズを抑制するために、第2の強磁性薄膜層13に縦バイアス磁界を印加する一対の縦バイアス印加層36が配置されている。一対の縦バイアス印加層36の上には、第1の磁気センサ膜21に信号検出電流を流すための一対の電極37が配置されている。

【0032】これらの構成は、絶縁層14で被覆され、この上に、第2の磁気センサ膜22が積層されている。第2の磁気センサ膜22は、順に積層された、下地膜33、第3の強磁性薄膜層16、第2の非磁性導電層19、第4の強磁性薄膜層18、反強磁性薄膜層35、保護膜34から構成される。下地膜33は、上に積層されていく薄膜層の結晶配向性を向上させるために配置されている。また、反強磁性薄膜層35は、第4の強磁性薄膜層18の磁化を交換結合により固定するために配置されている。第2の磁気センサ膜22の両脇には、一対の縦バイアス印加層38、一対の電極39が配置されている。

【0033】各強磁性薄膜層11、13、16、18の磁化の向きは、図1の磁気抵抗センサと同様である。すなわち、第1の磁気センサ膜21の第1の強磁性薄膜層11の磁化23、ならびに、第2の磁気センサ膜22の第4の強磁性薄膜層18の磁化26は、素子の高さ方向28に平行で互いに逆向きに固定されている。この固定は、図5の構成では、反強磁性薄膜層31、35との交換結合によって成されている。また、第1の磁気センサ膜21の第2の強磁性薄膜層13の磁化24、ならびに、第2の磁気センサ膜22の第3の強磁性薄膜層16の磁化25は、記録媒体からの磁界を受けていない場合には、トラック幅方向29に平行で同じ向きであり、記録媒体からの磁界を受けると、その磁界の向きに応じて回転する。

【0034】記録媒体からの磁界による第2の強磁性薄膜層13および第3の強磁性層16の磁化13、16の回転に伴う第1の磁気センサ膜21および第2の磁気センサ膜22の電気抵抗変化を検出するために、電極37および電極39には、別個の電流源501、502と抵抗変化検知回路503、504が接続されている。抵抗変化検知回路503、504には、これらの検出した抵抗変化の差を検出する回路505に接続され、出力が得られる構成である。

【0035】図1の磁気抵抗センサで説明したように、本発明の磁気抵抗センサでは、第1および第2の磁気センサ膜21、22の各層うち、磁化を固定する強磁性薄

膜層11、18の磁化の向きを互いに逆向きし、しかも、第1および第2の磁気センサ膜21、22の電気抵抗変化の差を検出することにより、異方性磁気抵抗効果を相殺することができ、対称性の良い再生波形が得られる。また、サーマルアスピリティーによるノイズを打ち消すことができる。

【0036】なお、図5の磁気センサでは、一対の電極37が、第1の磁気センサ膜21の上部の一部を両端から覆うような形状にしている。同様に、一対の電極39は、第2の磁気センサ膜22の上部の一部を両端から覆う形状である。すなわち、図5の断面図は、電極37、39を模式的に示しているが、実際には、図13のような形状であり、一対の電極37は、一対の磁気センサ膜21の上部の両端部にかぶせられているため、一対の電極37の先端の間隔131は、一対の縦バイアス膜36の先端の間隔132よりも狭くなっている。同様に、一対の電極39の先端の間隔133は、一対の縦バイアス膜38の先端の間隔134よりも狭くなっている。

【0037】このように、電極37、39の先端の間隔を狭くしているのは、電極37、39から磁気センサ膜21、22に流す電流を、強磁性薄膜層13、16の感度の高い中心部の領域にのみ流すためである。強磁性薄膜層13、16のうち、縦バイアス膜36、38に近い領域は、媒体からの磁界によって磁化が回転しにくく、感度が鈍い。よって、この領域を、電極37、39で覆うことにより、中心部の感度の高い領域のみを検出できるため、磁気抵抗センサの感度を向上させることができる。

【0038】なお、本実施の形態では、基板10の材料としてガラスまたはセラミックスを用いている。また、磁気センサ膜21、22の強磁性薄膜層11、13、16、18の材料としては、例えばCo、Fe、Ni、あるいはこれらを主成分とする合金を用いることができる。具体的には、例えば、強磁性薄膜層11、13、16、18を、 $\text{Ni}_{91}\text{Fe}_9$ 、 $\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ 、Coのいずれかまたはこれらの積層膜で形成することができる。その好ましい厚さは1から15nmである。非磁性導電層12、19の材料としては、Cu、Ag、Auあるいはこれらを主成分とする合金を用いることができる。具体的には、例えば、Cuで形成することができる。その好ましい厚さは1から5nmである。また、絶縁層14の材料としては、酸化アルミニウム、酸化シリコン、酸化タンタルあるいはこれらの混合物を用いることができる。反強磁性薄膜層31と、反強磁性薄膜層35とでは、交換結合磁界が消失する温度、いわゆるブロッキング温度が異なる材料を用いることが望ましい。これにより、製造時の磁界中熱処理を容易に行うことが可能になるためである。具体的には、例えば、反強磁性薄膜層31をNiO、反強磁性薄膜層35を $\text{Fe}_{50}\text{Mn}_{50}$ 、またはこの逆の組み合わせで形成することができる。また、

保護膜32、34は、例えば、Taで形成することができる。下地膜33は、例えば、Ta、Zr、Hfのいずれかで形成することができる。縦バイアス印加層36、38は、記録媒体からの磁界よりも保磁力の大きな硬質磁性体、あるいは強磁性体と反強磁性体の積層体を用いることができるが、本実施の形態のように磁気センサ膜21、22に2枚の反強磁性薄膜層31、35を用いている場合には、硬質磁性体を用いることが望ましい。例えば、CoPt合金またはCoCrPt合金で形成することができる。電極37、39は、例えば、AuまたはTaで形成することができる。

【0039】つぎに、図5の磁気抵抗センサの製造方法について説明する。

【0040】ガラス、セラミクスからなる非磁性基板10の上に、まず反強磁性薄膜層31を形成し、第1の強磁性薄膜層11、第1の非磁性導電層12、第2の強磁性薄膜層13を順次成膜した後、保護膜32で被覆する。これらの膜から構成される第1の磁気センサ膜21をイオンミリング法により、図5および図13のような所定の形状にパターニングした後、縦バイアス印加層36を形成する。そして、イオンミリング法により、第1の磁気センサ膜21の上部に形成された縦バイアス印加層36を取り除くことにより、第1の磁気センサ膜21の両脇にのみ縦バイアス印加層36を配置することができる。この上に、電極37の形成するための層を形成する。そしてこの層を、イオンミリングによりパターニングすることにより電極37が形成される。このとき、電極37の先端の間隔131が、磁気センサ膜21の幅、すなわち縦バイアス印加層36の間隔134より狭くなるように、電極37が磁気センサ膜21の両端にかぶさるようパターニングする。これにより、図5および図13のような形状の電極37が形成できる。

【0041】この上に、絶縁層14を成膜し、さらにこの上に磁気センサ膜22を形成する。第2の磁気センサ膜22は、まず下地膜33を成膜し、その上に第3の強磁性薄膜層16、第2の非磁性導電層19、第4の強磁性薄膜層18、反強磁性薄膜層35、保護膜34を成膜する。そして、第1の磁気センサ膜21と露光装置の合わせ誤差範囲内で同じ位置に、第2の磁気センサ膜22を所定の形状にパターニングする。そして、第1の磁気センサ膜21のときと同様の手法で、第2の磁気センサ膜22の両側に縦バイアス印加層38、電極39を形成する。

【0042】なお、第2の強磁性薄膜層13と第3の強磁性薄膜層16の磁化は、成膜時に磁界を印加することによって、トラック幅方向29に誘導する。第1の強磁性薄膜層11と第4の強磁性薄膜層18の磁化は、第2及び第3の強磁性薄膜層13、16の磁化の方向とは直交方向である素子高さ方向28に沿って互いに逆向きに向ける。そのため、図5の形状の素子が形成された後に

磁界中熱処理を行う。この磁界中熱処理は、反強磁性薄膜層31および反強磁性薄膜層35の一方のブロッキング温度を T_1 、他方のブロッキング温度を T_2 ($T_1 > T_2$)とした場合に、まず、熱処理温度 T を $T > T_1$ まで温度を上げ、素子高さ方向に磁界を印加しながら熱処理を行う。その後温度を下げ、 $T_1 > T > T_2$ の温度で、印加する磁界の向きを反転させることにより、図1のような磁化配置にすることができる。

【0043】なお、縦バイアス印加層36、38は必須のものではなく、バルクハウゼンノイズが発生しなければ設けなくともよい。

【0044】また、縦バイアス印加層36、38からの縦バイアス磁界による感度の低下が問題にならない場合には、電極37、39を磁気センサ膜21、22の両端にかぶせず、電極37、39の先端の間隔131、133を縦バイアス印加層36、39の間隔132、134と同じにすることができる。

【0045】また、図16のように、縦バイアス印加層36、38の配向を制御するために縦バイアス印加層36、38の下に下地膜135を配置することもできる。下地層135の材料としては、Cr等を用いることができる。

【0046】また、上述の実施の形態では、電極37、39等のパターニングに、イオンミリング法を用いたが、この方法に限らずリフトオフ法等の他の方法を用いることももちろん可能である。

【0047】つぎに、図6を用いて本実施の形態の別の形態の磁気抵抗センサについて説明する。また、図6の磁気抵抗センサの形状を具体的に示す断面図を、図14に示す。図6、図14の磁気抵抗センサは、図5の磁気抵抗センサと同様の構成であるが、図5の磁気抵抗センサの第4の強磁性薄膜層18および反強磁性薄膜層35の2層を、硬質磁性薄膜40で置き換えている。なお、ここで硬質磁性薄膜とは、記録媒体から磁気抵抗センサに加わる磁界よりも保磁力が大きい磁性体からなる薄膜をいう。硬質磁性薄膜40の磁化の方向は、第1の強磁性薄膜層11とは逆向きに向かせる。この構成により、第3の強磁性薄膜層16は、非磁性導電層19と硬質磁性薄膜40とともに第2の磁気センサ22を構成する。

【0048】図6の磁気抵抗センサを製造する場合には、図5の磁気抵抗センサと同様に成膜およびパターニングを行って図6の形状を作製した後、磁界中熱処理を行う際に、素子高さ方向28の磁界を印加しながら磁界中熱処理を行い、第1の強磁性薄膜層11の磁化を固定する。その後、常温で、熱処理中の磁界の方向とは逆向きの磁界を印加することにより、硬質磁性薄膜40の磁化を第1の強磁性薄膜層11とは逆向きに着磁し、図1のような磁化配置を作る。

【0049】なお、図6で、縦バイアス印加層36、38に硬質磁性体を用いる場合、硬質磁性薄膜40と縦バ

イアス印加層36、38とで保磁力の大きく異なる硬質磁性体を用いるようにする。また、縦バイアス印加層36、38を、強磁性体と反強磁性体の積層体で構成してもよい。このとき、縦バイアス印加層36、38に用いる反強磁性材料と、反強磁性薄膜31のブロッキング温度が異なるように材料を選択する。

【0050】なお、図6の構成では、図5の磁気抵抗センサの第4の強磁性薄膜層18と反強磁性薄膜層35の2層を、1層の硬質磁性薄膜40で置き換えているが、図5の反強磁性薄膜層35のかわりに、硬質磁性薄膜層を用い、第4の強磁性薄膜層18の磁化を硬質磁性薄膜層の磁化との強磁性的な交換結合によって固定することもできる。この場合、硬質磁性薄膜層の保磁力以上の外部磁界が作用しない限り、第4の強磁性薄膜層18の磁化を固定した状態に保つことができる。

【0051】つぎに、図4の構成に対応する磁気抵抗センサの具体的な構成について、図7を用いて説明する。また、磁気抵抗センサの形状を表す断面図を図15に示す。

【0052】非磁性基板410の上には、順に、下地層433、第1の強磁性薄膜層411、第1の非磁性導電層412、第2の強磁性薄膜層413が積層されている。これらの膜は、第1の磁気センサ膜421を構成する。第1の磁気センサ膜421の両側には、バルクハウゼンノイズを抑制するために、第1の強磁性薄膜層411に縦バイアス磁界を印加する一対の縦バイアス印加層436が配置されている。一対の縦バイアス印加層436の上には、第1の磁気センサ膜421に信号検出電流を流すための一対の電極437が配置されている。

【0053】これらの構成は、絶縁性反強磁性薄膜層415で被覆され、この上に、第2の磁気センサ膜422が積層されている。第2の磁気センサ膜422は、順に積層された、第3の強磁性薄膜層416、スペーサ層417、第4の強磁性薄膜層418、第2の非磁性導電層419、第5の強磁性薄膜層420、保護膜434から構成される。第2の磁気センサ膜422の両脇には、一対の縦バイアス印加層438、一対の電極439が配置されている。

【0054】各強磁性薄膜層411、413、416、418、420の磁化の向きは、図4の磁気抵抗センサと同様である。すなわち、第1の磁気センサ膜421の第2の強磁性薄膜層413の磁化424、ならびに、第2の磁気センサ膜422の第4の強磁性薄膜層418の磁化426は、素子の高さ方向28に平行で互いに逆向きに固定されている。第2の強磁性薄膜層413の磁化の固定は、絶縁性反強磁性薄膜層415との交換結合によって成されている。第4の強磁性薄膜層418の磁化の固定は、スペーサ層417を介して第3の強磁性薄膜層416と反強磁性的に結合することによって成されている。第3の強磁性薄膜層416の磁化は、絶縁性反強

磁性薄膜層415との交換結合によって、第2の強磁性薄膜層413と同じ向きに固定されている。

【0055】また、第1の磁気センサ膜421の第1の強磁性薄膜層411の磁化423、ならびに、第2の磁気センサ膜422の第5の強磁性薄膜層420の磁化427は、記録媒体からの磁界を受けていない場合には、トラック幅方向29に平行で同じ向きであり、記録媒体からの磁界を受けると、その磁界の向きに応じて回転する。

10 【0056】また、電極437、439に接続される回路構成は、図5の電極37、39に接続される回路構成と同じである。

【0057】このように、図7の磁気センサでは、第2および第4の強磁性薄膜層413、418の磁化の向きを互いに逆向き固定し、しかも、第1および第2の磁気センサ膜421、422の電気抵抗変化の差を検出する構成にすることにより、異方性磁気抵抗効果を相殺することができ、対称性の良い再生波形が得られる。また、サーマルアスピリティーによるノイズを打ち消すことができる。

20 【0058】なお、図7の磁気センサでは、図5の磁気センサと同様、電極437、439が、磁気センサ膜421、422の両端から上部の一部を覆うような形状にしている(図15)。これにより、電極437、439から磁気センサ膜421、422に流す電流を、磁気センサ膜421、422の中心部の領域にのみ流すことができるため、磁気抵抗センサの感度を向上させることができる。

30 【0059】絶縁性反強磁性層415は、例えば、NiOおよびCoOのいずれか、またはこれらの積層体により形成することができる。また、スペーサ層417は、Ru、Cr、Rh、Irのいずれか、あるいはこれらの合金により形成することができる。スペーサ層417の厚さは、0.3から1.0nmの範囲であることが望ましい。また、強磁性薄膜層411、413、416、418、420は、上述の強磁性薄膜層11等と同じ材料で、非磁性導電層412、419は、非磁性導電層12等と同じ材料で、縦バイアス印加層436、438は、縦バイアス印加層36等と同じ材料で、電極437、439は、電極37等と同じ材料で、下地膜433は、下地膜33と同じ材料で、それぞれ形成することができる。

【0060】つぎに、図7の磁気抵抗センサの製造方法について説明する。

【0061】第1の磁気センサ膜421および第2の磁気センサ膜422、縦バイアス印加層436、438および電極437、439の成膜およびパターニングは、図5の磁気抵抗センサと同様に行う。

50 【0062】このとき、第1の強磁性薄膜層411と第5の強磁性薄膜層420は、成膜時に磁界を印加するこ

とによって、磁化の方向をトラック幅方向29に誘導する。

【0063】また、第3の強磁性薄膜層416と第4の強磁性薄膜層418との反強磁性的な結合を利用して、第4の強磁性薄膜層418の磁化と第2の強磁性薄膜層413の磁化とを、素子の高さ方向28に平行でかつ互いに逆向きの方向に向かせるため、図7の磁気センサの成膜およびパターンニング等を行った後、磁界中熱処理を行う。印加する磁界の向きは、第2の強磁性薄膜層413の磁化を向けたい方向（図4参照）である。ただし、第3の強磁性薄膜層416は、その磁化量（飽和磁束密度と膜厚との積）が、第4の強磁性薄膜層418の磁化量より大きくなるように形成しておく。この磁界中熱処理により、第2の強磁性薄膜層413の磁化が印加した磁界の方向を向き、絶縁性反強磁性層415の磁化との交換結合によりこの方向に固定される。同時に、第3および第4の強磁性薄膜層416、418のうち磁化量の大きな第3の強磁性薄膜層416の磁化が、印加した磁界の方向を向き、絶縁性反強磁性層415の磁化との交換結合により固定される。このように、第3の強磁性薄膜層416の磁化が固定されると、第4の強磁性薄膜層418の磁化は、スペーサ層417を介した反強磁性的な結合により、特に処理を施すことなく、第3の強磁性薄膜層416の磁化とは逆向きに固定される。これにより、第4の強磁性薄膜層418の磁化と第2の強磁性薄膜層413の磁化とを、素子の高さ方向28に平行でかつ互いに逆向きの方向に向かせることができる。

【0064】なお、この方法の他、磁界中成膜を利用して、第4の強磁性薄膜層418の磁化と第2の強磁性薄膜層413の磁化とを、素子の高さ方向28に平行でかつ互いに逆向きの方向に向かせることもできる。この場合、第2の強磁性薄膜層413および第3の強磁性薄膜層416の成膜時に、素子高さ方向28に平行で同じ向きの磁界を印加しながら成膜する。そして、第3の強磁性薄膜層416の上にスペーサ層417を成膜し、今度は磁界を印加せずに、第4の強磁性薄膜層418を成膜する。第4の強磁性薄膜層418の磁化は、第3の強磁性薄膜層416との反強磁性的な結合によって、第3の強磁性薄膜層416とは逆向きとなる。これによって、第4の強磁性薄膜層418の磁化と第2の強磁性薄膜層413の磁化とを、互いに逆向きに向かせることができる。この場合、第3の強磁性薄膜層416の磁化量が、第4の強磁性薄膜層418の磁化量より大きくなるように形成する必要はない。

【0065】図7の磁気抵抗センサの構成では、反強磁性薄膜層が絶縁性反強磁性薄膜層415の一層しか存在しないので、比較的容易に、逆方向に磁化を固定することができる。また、縦バイアス印加層を設ける際にも、硬質磁性体、および強磁性体と反強磁性体の積層体のどちらでも用いることができる。

【0066】つぎに、上述の磁気抵抗センサを用いた磁気抵抗効果ヘッドの実施の形態について説明する。

【0067】図8は、図6の磁気抵抗センサを用いた磁気抵抗効果ヘッドの側面図である。通常の磁気抵抗効果ヘッドでは、第1および第2の磁気センサ膜21、22を記録媒体に近づけるために、ヘッドの記録媒体への対向面50に磁気センサ膜21、22の端面を露出する構成を取る。しかしながら、図6の磁気抵抗センサのように、強磁性薄膜層の代わりに硬質磁性薄膜40を用いる場合には、記録媒体からの信号磁界によって、硬質磁性薄膜40の素子の高さ方向28に固定された磁化が減磁され、磁化の方向が不安定になることがある。そこで、本実施の形態では、図8のように、図6の磁気抵抗センサ100を、ヘッドの記録媒体への対向面50から遠ざける。そして、磁気センサ膜21、22と、記録媒体への対向面50との間に軟磁性膜41を配置し、記録媒体からの信号磁界を軟磁性膜41を通して磁気センサ素子100に導く。軟磁性膜41は、透磁率の高い磁化困難軸が素子の高さ方向28と平行になるように形成する。

【0068】これにより、硬質磁性薄膜40の磁化が減磁されることを防止することができ、出力の減少および不安定化を防ぐことができる。

【0069】なお、図6の磁気抵抗センサのかわりに、強磁性薄膜層の磁化を固定するために硬質磁性薄膜を用いる磁気抵抗センサや、図5や図7の磁気抵抗センサを、図8のヘッドに用いることももちろん可能である。

【0070】また、図9は、上述してきた本実施の形態の磁気抵抗センサを用いた磁気抵抗効果ヘッドの別の実施の形態である。

【0071】これまでの実施の形態では、信号検出電流をトラック幅方向29に流すことを前提にしていたが、図9のように、電極39の一方を媒体との対向面50に配置し、縦長の形状にパターンニングした磁気センサ膜22等の素子高さ方向に信号検出電流を流す構成にすることができる。これにより、電極39の間隔を、トラック幅に制限されずに大きくすることができるため、磁気センサ膜の素子抵抗を大きくすることが可能である。これにより、大きな出力を得ることができる。図9のヘッド構成は、上述してきた本実施の形態の磁気抵抗センサのいずれにも適用することができる。

【0072】以上の実施の形態では、非磁性基板10上に直接磁気抵抗センサを形成した場合について説明したが、高い分解能を得るために、第1及び第2の磁気センサ膜の上側または下側の少なくとも一方にギャップ層を介してシールド層を設けたり、また、記録用の誘導型磁気素子を本発明の磁気抵抗センサの上側あるいは下側に設けることももちろん可能である。このようにしても、本発明の磁気抵抗センサの基本的な特性は変わるものではない。

【0073】また、上述の各実施の形態の磁気抵抗セン

17

サは、図8、図9の形状の磁気抵抗効果ヘッドに用いる以外に、磁気抵抗センサが媒体対向面に露出される一般的な構造の磁気抵抗効果ヘッドにも用いることができる。

【0074】

【発明の効果】上述してきたように、本発明によれば、巨大磁気抵抗効果を用いた磁気抵抗センサであって、異方性磁気抵抗効果の影響を取り除き、対称性の良い再生波形が安定して得られる磁気抵抗センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気抵抗センサの一実施の形態の基本的な層構成を示すための説明図。

【図2】(a)、(b)図1の構成の磁気抵抗センサの2つの磁気センサ膜の各々の磁気抵抗変化曲線をシミュレーションにより求めた結果を示すグラフ。

【図3】図1の構成の磁気抵抗センサの2つの磁気センサ膜の電気抵抗変化の差を、磁気抵抗センサの出力としたときに得られる磁気抵抗変化曲線を示すグラフ。

【図4】本発明の磁気抵抗センサの他の実施の形態の基本的な層構成を示すための説明図。

【図5】本発明の磁気抵抗センサの具体的な構成の一実施の形態を示すための断面図。

【図6】本発明の磁気抵抗センサの具体的な構成の一実施の形態を示すための断面図。

【図7】本発明の磁気抵抗センサの具体的な構成の一実施の形態を示すための断面図。

【図8】本発明の磁気抵抗センサを用いた磁気抵抗効果ヘッドの一実施の形態を示すための斜視図。

【図9】本発明の磁気抵抗センサを用いた磁気抵抗効果ヘッドの一実施の形態を示すための斜視図。

【図10】従来のスピナバルブ構造を有する磁気抵抗セ*

18

*ンサの基本的な層構成を示す説明図。

【図11】従来のスピナバルブ構造を有する磁気抵抗センサの磁気抵抗変化曲線の測定結果を示すグラフ。

【図12】従来のスピナバルブ構造を有する磁気抵抗センサの磁気抵抗変化曲線をシミュレーションにより計算した結果を示すグラフ。

【図13】図5の磁気抵抗センサの各層の具体的な形状を示すための断面図。

【図14】図6の磁気抵抗センサの各層の具体的な形状を示すための断面図。

【図15】図7の磁気抵抗センサの各層の具体的な形状を示すための断面図。

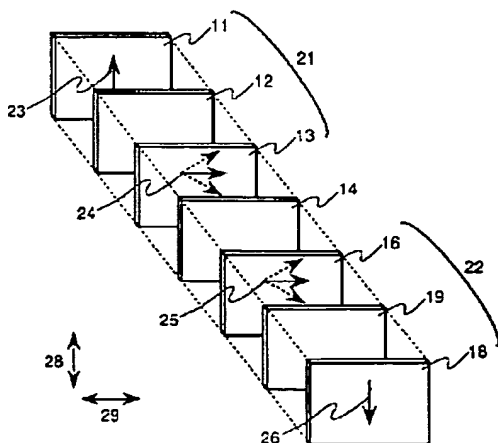
【図16】図5の磁気抵抗センサに下地膜135を加えた構成を示すための断面図。

【符号の説明】

10…基板、11、411…第1の強磁性薄膜層、12、412…第1の非磁性導電層、13、413…第2の強磁性薄膜層、14…絶縁層、415…絶縁性反強磁性薄膜層、16、416…第3の強磁性薄膜層、417…スペーサ層、18、418…第4の強磁性薄膜層、19、419…第2の非磁性導電層、20、420…第5の強磁性薄膜層、21、421…第1の磁気センサ膜、22、422…第2の磁気センサ膜、23、423…第1の強磁性薄膜層の磁化、24、424…第2の強磁性薄膜層の磁化、25、425…第3の強磁性薄膜層の磁化、26、426…第4の強磁性薄膜層の磁化、27、427…第5の強磁性薄膜層の磁化、28…素子高さ方向、29…トラック幅方向、31、35…反強磁性薄膜層、32、34…保護膜、33…下地膜、36、38、436、438…縦バイアス印加層、37、39、437、439…電極、40…硬質磁性薄膜、41…軟磁性膜、50…媒体対向面、100…磁気抵抗センサ。

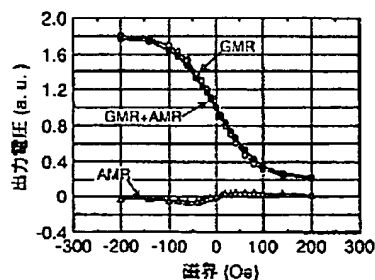
【図1】

図1



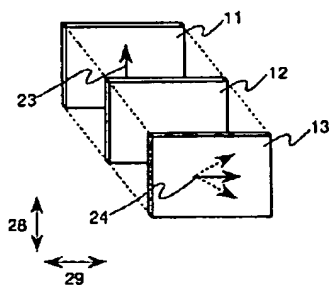
【図3】

図3



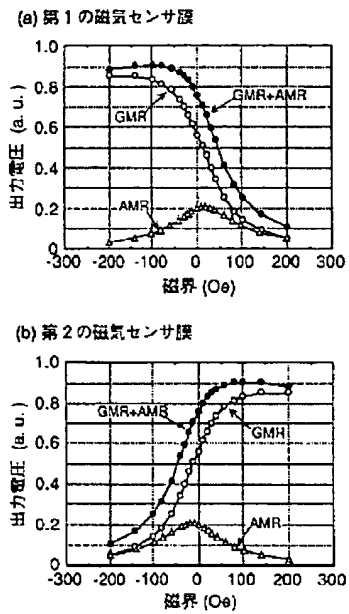
【図10】

図10



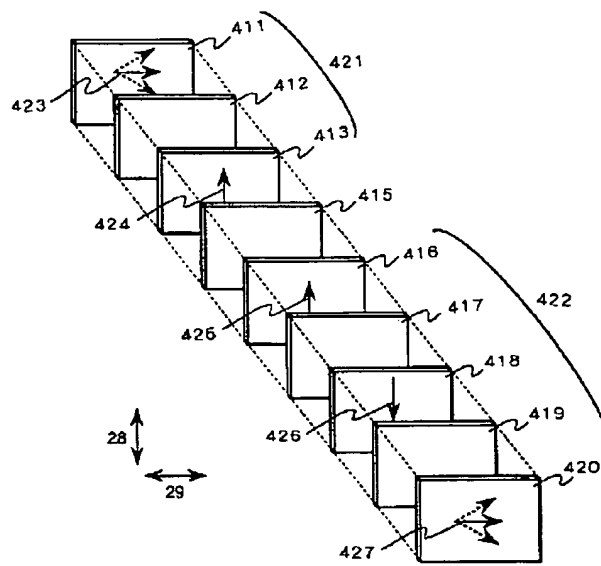
【図2】

図2



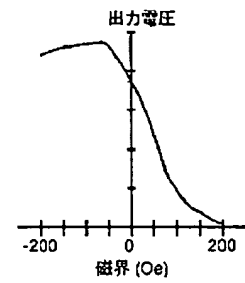
【図4】

図4



【図11】

図11



【図6】

【図5】

図5

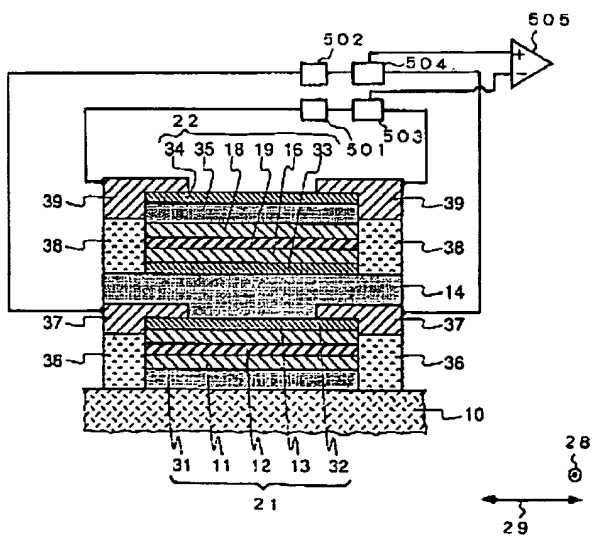
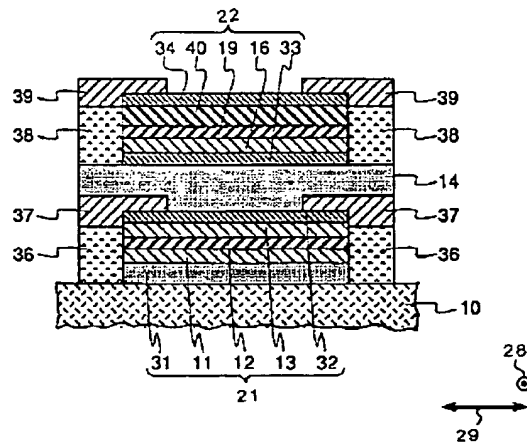
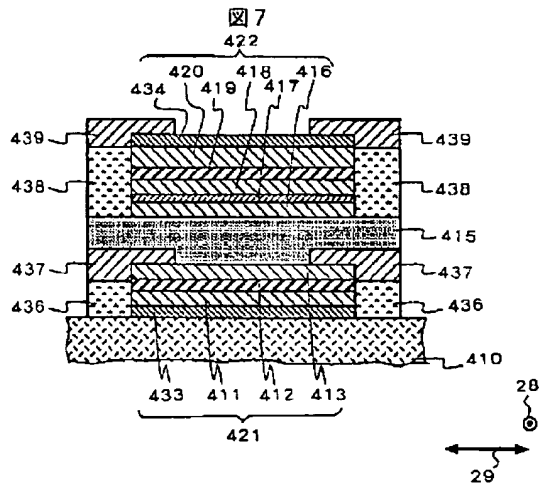


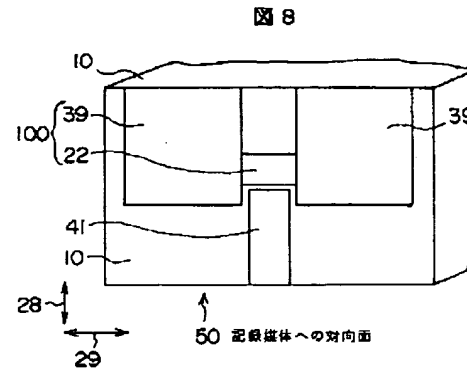
図6



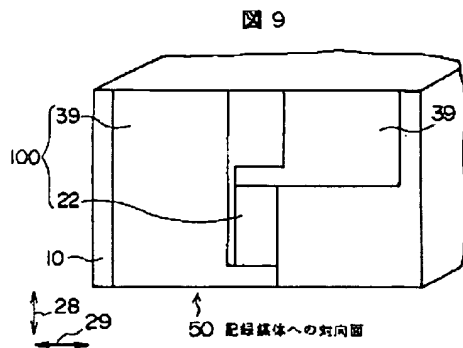
【図7】



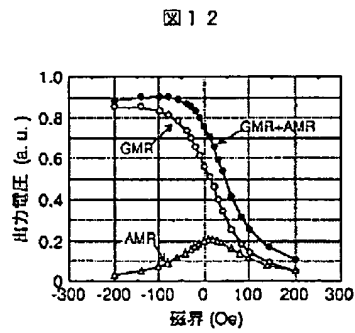
【図8】



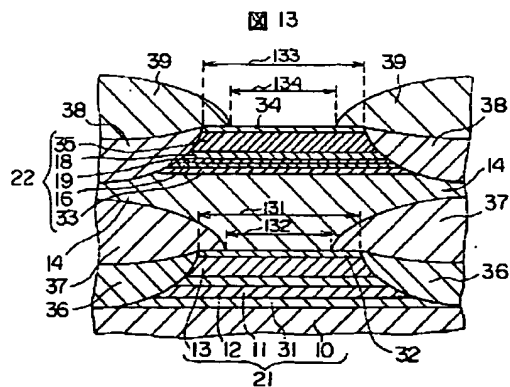
【図9】



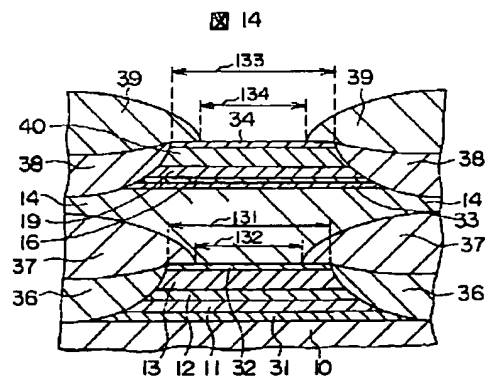
【図12】



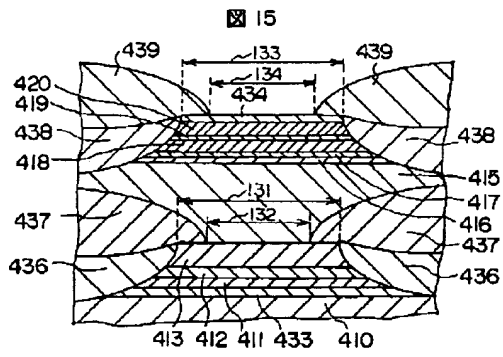
【図13】



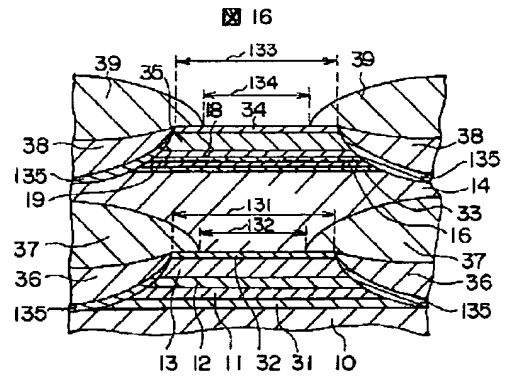
【図14】



【図15】



【図16】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.